

Ramírez Herrera, M. (2022). Nanoremediación de metales pesados en buscadores académicos de revistas científicas (2010-2021).

### Nanoremediación de metales pesados en buscadores académicos de revistas científicas (2010-2021)

Mariana Ramírez Herrera<sup>15</sup>

La minería en México es una actividad económica importante y arraigada. En 2020, México se ubicó en las primeras 10 posiciones a nivel mundial en 15 metales, se situó como el mayor productor mundial de plata y el sexto de oro (SGM, 2021, p. 23). El impulso continuado a la minería en el estado de Zacatecas y las características geológicas de su territorio lo han consolidado como uno de los mayores centros mineros del país, primer productor de plata con un 34.1% del total para 2020, y, segundo productor nacional de oro con una participación de 21.9% del total. Zacatecas también es el primer productor de plomo y zinc de México con un 58.9% y un 42.6%, respectivamente (INEGI; 2022). Por su alta producción minera y los efectos de su explotación y beneficiado es probable que los suelos de varias regiones se encuentren contaminados.

La nanoremediación se ha convertido en una alternativa para la limpieza del ambiente, con posibilidades de prevención, detección, monitoreo y remediación de la contaminación por metales pesados, desechos radioactivos, de aguas residuales y manejo de residuos sólidos, entre otros (Bhandari; 2018, pp. 303-304). Por ello, es importante conocer los alcances y limitaciones de la nanoremediación, particularmente aquella empleada en la minería.

<sup>15</sup> Posdoctoranda en la Unidad Académica en Estudios del Desarrollo de la Universidad Autónoma de Zacatecas «Francisco García Salinas», México. Miembro del proyecto de investigación Conacyt-Ciencia de Frontera 2019 No. 304329.

Información sobre nanoremediación en revistas científicas (2010–2021) en buscadores académicos

Métodos de nanoremediación	Metal(es) a remediar	Residuos			
		Jales	Agua	Suelo	Aire
(nZVI)	Hg, Cd, Cr y Pb		X	X	X
(nZVI)	As y Hg	X		X	
(nZVI)	As, Cu, Hg, Pb y Zn	X		X	
(nZVI)	Cr (VI)	X		X	
(nZVI)	No especifica		X	X	
Nanobiotechnology	Zn, As, Pb, Cr			X	
(nZVI)	Pb, Zn, Cd			X	
(nZVI)	Cd, Pb, Zn	X		X	
(nZVI)	As	X		X	
(nZVI), (nFeS) y magnetita (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	As	X		X	
(nZVI) estabilizado con CMC (CMC-nZVI)	Cd, Pb, Zn	X		X	
Nanocompuestos de hormigón/maghemita	As	X	X	X	
Nanomateriales	Cd, Cr y Pb	X		X	
Nanopartículas	Cr (VI)	X		X	
Nanomateriales hechos de carbono, Ti, Fe y Zr	As	X	X		
Nanopartículas	No especifica	X	X		
Nanopartículas de óxido de grafeno (nGOx)	As, Pb, Cu, Zn y Cd	X		X	
Compuestos a base de lantanidos	No especifica	X	X	X	X
(nZVI)	As			X	
(nZVI) y nanotubos de carbono y nanofibras	No especifica	X	X	X	X
Nanoarcillas	As	X	X		
Nanomateriales de carbono, silice y a base de metal	Pb, Zn, Cr, Cu, Hg, As	X	X	X	X
Nanomateriales	Hg, Pb, Cr, Ni, Co, Cu, Cd, As		X	X	
Nanopartículas de TiO <sub>2</sub>	As	X		X	
óxidos metálicos nanoestructurados		X	X		
Remediación a base de fosfato	Pb (II), Cd (II), Zn (II) y Cu (II)	X	X	X	
Nanopartículas, biocarbón	No especifica			X	
(nZVI)	Pb y Zn	X		X	

(nZVI): Hierro de valencia cero a nanoescala.

(nFeS): Nanopartículas de Sulfuro de Hierro

Fuente: Mariana Ramírez Herrera, elaboración propia.

En el cuadro se revisan 28 artículos publicados entre 2010 y 2022, sobre diversos esquemas de nanoremediación utilizados para reducir la presencia de metales pesados en suelo y agua en el mundo

debido a los elevados costos ambientales y sanitarios derivados de la contaminación por elementos traza en altas concentraciones. El objetivo fue indagar sobre las líneas de investigación llevadas a cabo para facilitar posteriores estudios y su aplicación en México. La búsqueda se realizó entre agosto de 2021 y febrero de 2022 a partir de la Web of Science. Términos de búsqueda mediante el tema y título específico: nanoremediación/nanoremediation, así como el descriptor: en metales pesados o minería, desechando cualquier otro tipo de remediación y excluyendo información sobre otro tipo de contaminantes o desechos tóxicos.

## Referencias

- Ahmed, T., Noman, M., Ijaz, M., Ali, S., Rizwan, M., Ijaz, U., Hameed, A., Ahmad, U., Wang, Y., Sun, G. & Li, B. (2021). Current trends and future prospective in nanoremediation of heavy metals contaminated soils: A way forward towards sustainable agriculture. In: *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 112888. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112888>
- Azari, P., & Bostani, A. (2017). Reducing As availability in calcareous soils using nanoscale zero valent iron. In: *Environmental Science and Pollution Research*, 24(25), 20438–20445. <https://doi.org/10.1007/s11556-017-9447-x>
- Azeez, N., Dash, S., Gummadi, S., & Deepa, V. (2021). Nano-remediation of toxic heavy metal contamination: Hexavalent chromium [Cr (VI)]. In: *Chemosphere*, Volume 266 (3). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129204>
- Baigorria, E., Cano, L. and Alvarez, V. (2021). Nanoclays as Eco-friendly Adsorbents of Arsenic for Water Purification. V. Kharissova *et al.* (eds.). In: *Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications*. Springer Nature Switzerland, 455–470. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-36268-3\\_61](https://doi.org/10.1007/978-3-030-36268-3_61)
- Baragaño, D., Forján, R., Welte, L. & Gallego, J.L. (2020). Nanoremediation of As and metals polluted soils by means of graphene oxide nanoparticles. In: *Scientific Reports*, (10) 1896. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58852-4>
- Bhandari, G. (2018). Environmental Nanotechnology: Applications of Nanoparticles for Bioremediation. In: *Approaches in Bioremediation*. Aranda, E. & R. Prasad (eds.). *Nanotechnology in the Life Sciences*, 301–315. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-02369-0\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-02369-0_13)
- Boente, C., Sierra, C., Martínez-Blanco, D., Menéndez-Aguado, J.M., & Gallego, J.R. (2018). Nanoscale zero-valent iron-assisted soil washing for the removal of potentially toxic elements. In: *Journal of Hazardous Materials*, (350), 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.02.016>
- Borja-Borja, J.M., Heredia-Moyano, S., & Sáez-Paguay, M. (2020). Los nanomateriales y sus aplicaciones en la remediación ambiental. En: *Polo del Conocimiento*, 5(7), 338–370. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i7.1517>
- Cao, Y., Zhang, S., Zhong, Q., Wang, G., Xu, X., Li, T., Wang, L., Jia, Y., & Li, Y. (2018). Feasibility of nanoscale zero-valent iron to enhance the removal efficiencies of heavy metals from polluted soils by organic acids. In: *Ecotoxicology and Environmental Safety*, (162), 464–473. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.036>

- Chávez-Lizárraga, G. (2018). Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales: Avances, Ventajas y Desventajas. En: *Journal of the Selva Andina Research Society*, 9(1):52-61.
- Das, P. (2018). Phytoremediation and Nanoremediation: Emerging techniques for treatment of acid mine drainage water. In: *Defence Life Science Journal*, Vol. 3, No. 2, 190-196. <https://doi.org/10.14429/dlsj.3.11346>
- Devarajan, T., Ahuja, V. and Sangeetha, J. (2021). Nanomaterials and Nanoprocesses for the Removal and Reuse of Heavy Metals. V. Kharissova *et al.* (eds.). In: *Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications*. Springer Nature Switzerland, 2649-2660. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-36268-3\\_75](https://doi.org/10.1007/978-3-030-36268-3_75)
- Fajardo, C., Sánchez-Fortún, S., Costa, G., Nande, M., Botías, P., García-Cantalejo, J., Mengs, G., & Martín, M. (2020). Evaluation of nanoremediation strategy in a Pb, Zn and Cd contaminated soil. In: *Science of the Total Environment*, (3), 706. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136041>
- Flores-Guia, T.E., Cano-Salazar, L.F., Martínez-Luévanos, A., & Claudio-Rizo, J.A. (2021). Manganese Oxides: Synthesis and Application as Adsorbents of Heavy Metal Ions. In: *Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications*. Kharissova O.V., Torres-Martínez L.M., Kharisov B.I. (eds.). Springer Nature Switzerland, 2409-2428. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-36268-3\\_155](https://doi.org/10.1007/978-3-030-36268-3_155)
- Gil-Díaz, M.M., Rodríguez-Valdés, E., Alonso, J., Baragaño, D., Gallego, J.R., & Lobo, M.C. (2019). Nanoremediation and long-term monitoring of brownfield soil highly polluted with As and Hg. In: *Science of the Total Environment*, (675), 165-175. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.183>
- Gil-Díaz, M.M., Pérez-Sanz, A., Vicente, M.A., & Lobo, M.C. (2014). Immobilisation of Pb and Zn in soils using stabilised zero-valent iron nanoparticles: Effects on soil properties. In: *CLEAN Soil, Air, Water*, 42(12), 1776-1784. <https://doi.org/10.1002/clen.201300730>
- Hernández-Flores, H., Pariona, N., Herrera-Trejo, M., Hernández-García, H.M., Martínez-Enriquez, A.I. (2018). Concrete/maghemite nanocomposites as novel adsorbents for arsenic removal. In: *Journal of Molecular Structure*, 1171, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2018.05.078>
- Hinojosa-Reyes, L., Hernández-Ramírez, A., Hinojosa-Reyes, M. and Rodríguez-González, V. (2021). Nanomaterials for Arsenic Remediation with Boosted Adsorption and Photocatalytic Properties. In: *Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications*. Kharissova O.V., Torres-Martínez L.M., Kharisov B.I. (eds.). Springer Nature Switzerland, 2681- 2722. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-36268-3\\_78](https://doi.org/10.1007/978-3-030-36268-3_78)
- Huang, D., Xue, W., Zeng, G., Wan, J., Chen, G., Huang, C., Zhang, C., Cheng, M., & Xu, P. (2016). Immobilization of Cd in river sediments by sodium alginate modified nanoscale zero-valent iron: Impact on enzyme activities and microbial community diversity. In: *Water Research*, (106), 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.09.050>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020). Industria minerometalúrgica -1980 en adelante. Producción Minera por Entidades Federativas y Municipios. México. Recuperado el 20 de abril de 2022, de <https://www.inegi.org.mx/programas/indminero/#Tabulados>
- Luo, T., Yang, C., Tian, X., Luo, W., Nie, Y., & Wang, Y. (2021). Application of Iron Oxide Nanomaterials for the Removal of Heavy Metals. In: *Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and*

- Environmental Applications. Kharissova O.V., Torres-Martínez L.M., Kharisov B.I. (eds.), Springer Nature Switzerland, 2067–2091. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-36268-3\\_76](https://doi.org/10.1007/978-3-030-36268-3_76)
- Marcon, L., Oliveras, J., & Puentes, V. F. (2021). In situ nanoremediation of soils and groundwaters from the nanoparticle's standpoint: A review. In: *Science of the Total Environment*. Elsevier, (791), 148324. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148324>
- Martínez-Orozco, R.D. (2013). Understanding the adsorptive and photoactivity properties of Ag-graphene oxide nanocomposites. In: *Journal of Hazardous Materials*, 263, 52–60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.07.056>
- Nicomel, N. R., Leus, K., Folens, K., van der Voort, P., & du Laing, G. (2016). Technologies for arsenic removal from water: Current status and future perspectives. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Vol. 13 (62), 1–24. <https://doi.org/10.3390/ijerph13010062>
- SGM. (2021). Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2020. Secretaría de Economía. México, 429 pp.
- Shi, Z., Fan, D., Johnson, R. L., Tratnyek, P. G., Nurmi, J. T., Wu, Y., & Williams, K. H. (2015). Methods for characterizing the fate and effects of nano zerovalent iron during groundwater remediation. *Journal of Contaminant Hydrology*. Vol. 181, 17–35. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2015.03.004>
- Su, H., Fanga, Z., Pokeung, E.T., Zheng, L., Cheng, W., Fanga, J. & Zhao, D. (2016). Remediation of hexavalent chromium contaminated soil by biochar-supported zero-valent iron nanoparticles. In *Journal of Hazardous Materials*, 318. 533–540. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.07.039>
- Wang, Y., Fang, Z., Kang, Y., & Tsang, E. P. (2014). Immobilization and phytotoxicity of chromium in contaminated soil remediated by CMC-stabilized nZVI. *Journal of Hazardous Materials*, (275), 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.04.056>
- Yang, D., Wang, R., Feng, X., Chu, Z., Li, J., Wei, W., Zheng, R., Zhang, J. and Chen, H. (2022). Transferring waste red mud into ferric oxide decorated ANA-type zeolite for multiple heavy metals polluted soil remediation. In: *Journal of Hazardous Materials* 424, 127244. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127244>
- Ye, S., Zeng, G., Wu, H., Zhang, C., Dai, J., Liang, J., Yu, J., Ren, X., Yi, H., Cheng, M., & Zhang, C. (2017). Biological technologies for the remediation of co-contaminated soil. *Critical Reviews in Biotechnology*, Vol. 37 (8), 1062–1076. <https://doi.org/10.1080/07388551.2017.1304357>
- Zhang, M. Y., Wang, Y., Zhao, D. Y., & Pan, G. (2010). Immobilization of arsenic in soils by stabilized nanoscale zero-valent iron, iron sulfide (FeS), and magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) particles. *Chinese Science Bulletin*, 55(4). 365–372. <https://doi.org/10.1007/s11434-009-0703-4>